

5. Камило П.М., Бей И.С., Ровенский А.И. Автомобиль и окружающая среда. – Харьков: Прапор, 2000. – 205 с.

6. Грицук І.В., Лісовий Є.П. Цифровий тахометр для випробування двигунів внутрішнього згорання / УГПІ.-Умань, 1997. – 15 с. - Деп. в УкрНИИНТИ 14.01.97, №61-Ук97.

Получено 16.06.2003

УДК 625.03

В.П.ШПАЧУК, д-р техн. наук, А.В.КОВАЛЕНКО

Харьковская государственная академия городского хозяйства

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТЫКОВ ТРАМВАЙНОГО ПУТИ

Анализируются геометрические параметры стыковых неровностей рельсового пути типа "зазор – ступень вниз". Полученные статистические данные по доверительным интервалам применяются при расчёте доударной скорости колеса, ударного импульса и прогиба рельса в местах закрепления промежуточных упругих опор.

При рассмотрении вопросов взаимодействия подвижного состава и рельсового пути различают прежде всего изолированные и непрерывные неровности. Среди изолированных неровностей особое место занимают стыковые неровности [1, 2]. В настоящей статье рассматриваются изолированные стыковые неровности рельсового пути типа "зазор – ступень вниз". При этом определяются выборочные средние, несмещенные оценки среднего квадратического отклонения, строятся доверительные интервалы для генерального среднего геометрических параметров (Δ , h – ширины и высоты) стыка. Полученные данные позволяют установить параметры динамического ударного взаимодействия транспортного средства с рельсовым путем с учетом их геометрических параметров и механических характеристик и в конечном итоге разработать технические предложения по усилению проблемного участка пути, снижающие просадку и повышающие продолжительность его эксплуатации [2, 3].

Для статистического анализа геометрических параметров стыков анализируемого типа использована методика [4], которая этапизирована и адаптирована к рассматриваемому в задаче трамвайному пути через его геометрические параметры: ширину стыка Δ и его высоту h , а также посредством допущения о статической независимости случайных величин Δ и h . На практике принятое допущение является приемлемым, учитывая, что величины Δ и h стыка с геометрической и механической точек зрения есть не что иное, как относительные координаты торцов соседних рельсов во взаимно-ортогональных направлениях.

Проведем расчет доверительных интервалов для генеральных

средних Δ и h , приняв вероятности $\alpha_{\Delta,h}=0,1$ и относительную ошибку $\Delta_{\Delta,h}=0,15$. Вариационные ряды величин Δ (число замеров $n=80$) и h ($n=50$), полученные на трамвайном пути маршрута "3" в г.Харькове приведены в табл.1, 2, где $W(\Delta)$, $W(h)$ – накопленные частоты зазора и высоты стыка.

Таблица 1 – Геометрические параметры зазора стыка

i	$X_i = \Delta$, мм	X_i^2	$W(x)$	i	$X_i = \Delta$, мм	X_i^2	$W(x)$
1	5	25	0.00625	41	19	361	0.50625
2	5	25	0.01875	42	19	361	0.51875
3	5	25	0.03125	43	20	400	0.53125
4	5	25	0.04375	44	20	400	0.54375
5	7	49	0.05625	45	20	400	0.55625
6	8	64	0.06875	46	22	484	0.56875
7	8	64	0.08125	47	22	484	0.58125
8	8	64	0.09375	48	23	529	0.59375
9	9	81	0.10625	49	23	529	0.60625
10	10	100	0.00875	50	23	529	0.61875
11	10	100	0.13125	51	24	576	0.63125
12	11	121	0.14375	52	24	576	0.64375
13	11	121	0.15625	53	25	625	0.65625
14	11	121	0.16875	54	25	625	0.66875
15	12	144	0.18125	55	25	625	0.68125
16	12	144	0.19375	56	27	729	0.69375
17	13	169	0.20625	57	28	784	0.70625
18	13	169	0.21875	58	28	784	0.71875
19	13	169	0.23125	59	29	841	0.73125
20	14	196	0.24375	60	29	841	0.74375
21	14	196	0.25625	61	30	900	0.75625
22	14	196	0.26875	62	30	900	0.76875
23	14	196	0.28125	63	31	961	0.78125
24	15	225	0.29375	64	31	961	0.79375
25	15	225	0.30625	65	33	1089	0.80625
26	15	225	0.31875	66	34	1156	0.81875
27	15	225	0.33125	67	35	1225	0.83125
28	16	256	0.34375	68	37	1369	0.84375
29	16	256	0.35625	69	37	1369	0.85625
30	16	256	0.36875	70	39	1521	0.86875
31	16	256	0.38125	71	40	1600	0.88125
32	17	289	0.39375	72	40	1600	0.89375
33	17	289	0.40625	73	41	1681	0.90625
34	18	324	0.41875	74	42	1764	0.91875
35	18	324	0.43125	75	45	2025	0.93125
36	18	324	0.44375	76	50	2500	0.94375
37	18	324	0.45625	77	51	2601	0.95625
38	19	361	0.46875	78	53	2809	0.96875
39	19	361	0.48125	79	60	3600	0.98125
40	19	361	0.49375	80	62	3844	0.99375
					$\Sigma = 1815$	$\Sigma = 54403$	

Таблица 2 – Геометрические параметры высоты стыка

i	X _i = h, мм	X _i ²	W(x)	i	X _i = h, мм	X _i ²	W(x)
1	2	4	0,01	26	6	36	0,51
2	2	4	0,03	27	6	36	0,53
3	2	4	0,05	28	6	36	0,55
4	2	4	0,07	29	6	36	0,57
5	2	4	0,09	30	6	36	0,59
6	3	9	0,11	31	6	36	0,61
7	3	9	0,13	32	7	49	0,63
8	3	9	0,15	33	7	49	0,65
9	3	9	0,17	34	7	49	0,67
10	3	9	0,19	35	7	49	0,69
11	3	9	0,21	36	7	49	0,71
12	4	16	0,23	37	8	64	0,73
13	4	16	0,25	38	8	64	0,75
14	4	16	0,27	39	8	64	0,77
15	4	16	0,29	40	8	64	0,79
16	4	16	0,31	41	9	81	0,81
17	5	25	0,33	42	9	81	0,83
18	5	25	0,35	43	9	81	0,85
19	5	25	0,37	44	9	81	0,87
20	5	25	0,39	45	10	100	0,89
21	5	25	0,41	46	10	100	0,91
22	5	25	0,43	47	10	100	0,93
23	5	25	0,45	48	11	121	0,95
24	6	36	0,47	49	11	121	0,97
25	6	36	0,49	50	12	144	0,99
					Σ = 298	Σ = 2128	

Находим выборочные средние:

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n} = 22,68 \text{ мм}; \quad \bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i^2}{n} = 5,96 \text{ мм}.$$

Определяем выборочные дисперсии $S_{\Delta h}^2$, смещенные $S_{\Delta h}$ и не-смещенные $S_{\Delta h, 1h}$ оценки среднего квадратического отклонения:

$$S_{\Delta}^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \left[\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 - \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i \right)^2 \right] = 167,4 \text{ мм}^2;$$

$$S_h^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \left[\sum_{i=1}^n h_i^2 - \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n h_i \right)^2 \right] = 7,18 \text{ мм}^2;$$

$$S_{\Delta} = S_{\Delta}^{1/2} = \sqrt{167,4} = 12,9 \text{ мм}; S_h = S_h^{1/2} = \sqrt{7,18} = 2,68 \text{ мм};$$

$$S_{1\Delta} = K_{\Delta} \cdot S_{\Delta} = 1,005 \cdot 12,9 = 12,96 \text{ мм}; S_{1h} = K_h \cdot S_h = 1,005 \cdot 2,68 = 2,69 \text{ мм}.$$

При этом выборочные коэффициенты вариации принимают значение:

$$V_{\Delta} = \frac{S_{1\Delta}}{\bar{\Delta}} = \frac{12,96}{22,68} = 0,568; V_h = \frac{S_{1h}}{\bar{h}} = \frac{2,69}{5,96} = 0,45.$$

Определяем необходимые объемы выборок в предложении нормального распределения величин Δ и h :

$$n_{\Delta} = \frac{V_{\Delta}^2}{\Delta_{\Delta}^2} \cdot t_{\alpha, K_{\Delta}}^2 = \frac{0,568^2}{0,0225} \cdot 2,789 = 40,1;$$

$$n_h = \frac{V_h^2}{\Delta_h^2} \cdot t_{\alpha, K_h}^2 = \frac{0,45^2}{0,0225} \cdot 2,789 = 25,1,$$

где $t_{\alpha, k}$ – значение квантили статистики t уровня $P = 1 - \alpha/2$ для числа степеней свободы $K_{\Delta, h} = n_{\Delta, h} - 1$.

Они (n_{Δ} , n_h) удовлетворяют объему выполненных замеров, приведенных в табл.1, 2.

Далее производим графическую оценку накопленных частостей. Данные по $W(x)$ заносим в табл.1, 2. Представим результаты измерений в виде графика (см. рисунок) эмпирической функции распределения на нормальной вероятностной сетке. Здесь же экспериментальные

данные аппроксимируем прямой $\hat{X}_p = \bar{X} + Z_p \cdot S_1$, которую проводим через точки А и В.

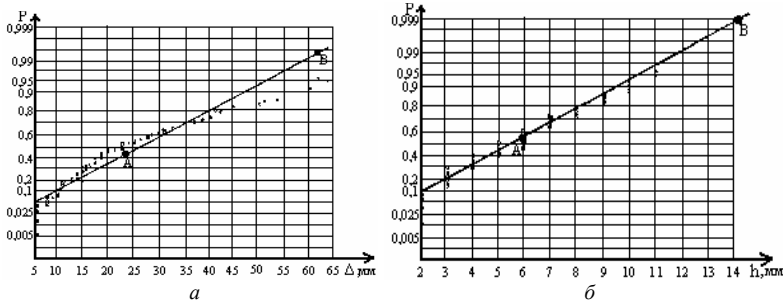
Координаты точек А и В: А ($\Delta_A=22,68$ мм; $h_A=5,96$; $\hat{P}_A = 0,5$);

В ($\Delta_B=22,68+3,09 \cdot 12,96=62,73$; $h_B=5,96+3,09 \cdot 2,69=14,27$; $\hat{P}_B=0,999$).

Определяем далее доверительные интервалы для генеральных средних Δ и h с учетом величин $S_{\Delta, h}$:

$$\bar{\Delta} - \frac{S_{\Delta}}{\sqrt{n_{\Delta}}} \cdot t_{\alpha, k_{\Delta}} < \Delta < \bar{\Delta} + \frac{S_{\Delta}}{\sqrt{n_{\Delta}}} \cdot t_{\alpha, k_{\Delta}},$$

где $t_{\alpha, k_{\Delta}}$ – значения квантили статистики t уровня $P=1-\alpha/2$ для числа степеней свободы $K_{\Delta}=n_{\Delta}-1$.



Эмпирическая функция распределения величин:
зазоров стыков (а) и высот стыков (б) по нормальной вероятностной сетке

С учетом [1] получаем следующие величины доверительных интервалов:

$$20,27 \text{ мм} < \Delta < 25,8 \text{ мм},$$

$$5,32 \text{ мм} < h < 6,6 \text{ мм}.$$

При этом можно утверждать, что полученные доверительные интервалы с вероятностью $P=1-\alpha=0,9$ при многократном повторении опыта накроют истинные значения генеральных средних Δ (ширины) и h (высоты) стыка.

Приведенные выше данные по средним значениям Δ , h и их доверительным интервалам используются при определении параметров доударной скорости колеса, горизонтальной координаты ударного импульса, а также при расчете собственных частот и форм колебаний рельса как неразрезной многопролётной балки на упругих опорах, величин его прогиба в местах закрепления промежуточных упругих опор, моделирующих шпалы на упругом балластном слое.

1. Митюшин Н.Т. Рельсовый путь. – М.-Л.: Гос. издательство, 1929.

2. Шпачук В.П., Коваленко А.В. Влияние конструкций стыковых соединений рельсов на надёжность путей и потребление ресурсов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 49. – К.: Техніка, 2003. – С.202-206.

3. Восковец Ю.А., Шнаперман Л.Я., Огарь В.Е. Почему повреждаются концы рельсов // Железнодорожный транспорт Украины. – 2000. – №3.

4. Степанов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.

Получено 08.07.2003